

DISEÑO DE PRÁCTICA PARA LA PROGRAMACIÓN SECUENCIAL DE
OPERACIONES EN LOS MÓDULOS FISCHERTECHNIK DEL
LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL.

Pablo Gómez Cárdenas

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2018

DISEÑO DE PRÁCTICA PARA LA PROGRAMACIÓN SECUENCIAL DE
OPERACIONES EN LOS MÓDULOS FISCHERTECHNIK DEL LABORATORIO
DE LOGÍSTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Realizado por:
PABLO GÓMEZ CÁRDENAS

PROYECTO DE GRADO

Director
JOHN ANDRES MUÑOZ
INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

M. Cs. JHON ANDRÉS MUÑOZ GUEVARA

CONTENIDO

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
1 TÍTULO DEL PROYECTO.....	8
2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	8
3 MATERIAS DE INVESTIGACIÓN.....	8
4 DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN	8
4.1 Selección y Definición del Tema de Investigación	8
4.2 Planteamiento del Problema.....	8
4.3 Formulación del Problema.....	9
4.4 Sistematización del Problema.....	9
5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	10
6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
6.1 Objetivo General.....	11
6.2 Objetivos Específicos	11
7 MARCO DE REFERENCIA.....	12
7.1 MARCO TEÓRICO.....	12
7.2 MARCO CONCEPTUAL	19
7.3 MARCO ESPACIAL	20
7.4 MARCO TEMPORAL	20
8 TRABAJO DE CAMPO	21
8.1 TIPO DE ESTUDIO	21
8.2 HERRAMIENTAS PARA SELECCIONAR Y RECOGER INFORMACIÓN	22
8.3 METODO DE REALIZACION	22
8.4 TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	23
9 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	23
9.1 Definición del sistema de programación secuencial para la línea de producción Fischertechnik	23

9.2	Diseño y programación de la línea con los módulos Fischertechnik	26
9.3	Diseño de practica para la línea de producción	29
9.3.1	Manual de utilización de la línea.....	29
9.3.2	Medidas Necesarias para la programación.....	30
9.3.3	Medidas de desempeño para la medición del programa.	30
9.3.4	Las reglas de entrega:	30
9.3.5	Algoritmos de Programación:	31
9.3.6	Utilización del software	31
9.4	Aplicación de la practica.....	35
10	CONCLUSIONES	37
11	RECOMENDACIONES.....	38

RESUMEN

El diseño de la practica busca mejorar, enfocándose en algunos puntos, el aprendizaje de la programación secuencial de operaciones, apoyándose con el laboratorio de logística y los módulos de Fischertechnik.

Para poder mejorar el aprendizaje de los estudiantes en cuestión a este tema, se utilizó la herramienta de enseñanza de aprendizaje basado en problemas, es decir: se utilizan una serie de preguntas y cuestionamientos enfocados en que el estudiante entienda e interiorice la importancia de la programación secuencial de operaciones, y a su vez, que vaya deduciendo la orientación en la que se desarrolla el tema.

El ejemplo más claro de esto es realizar cuestionamientos acerca de las necesidades de información para la programación, ya sea de la línea, de las piezas o los procesos, el estudiante podrá deducir cuales son las herramientas que necesita para mejorar el sistema, y así mismo, como las debe utilizar para obtener una respuesta mas ajustada a la necesidad.

Durante la programación de la línea de producción se utilizó un método más eficiente, que, aunque aumenta el tiempo de procesamiento, disminuye notablemente la necesidad de fichas para el funcionamiento de esta. Se eliminó la necesidad de un segundo sensor de color, y se liberaron componentes para otros trabajos del laboratorio.

Finalmente, la practica concluye dejando al estudiante realizar la toma de información, el ordenamiento de los trabajos, los cálculos de los algoritmos y finalmente, explicándole como modelar el sistema de producción en un software que simula el ordenamiento y entrega las medidas de eficiencia necesarias para que el estudiante pueda tomar una decisión mas acertada, y que se acerque mas al objetivo de la programación.

INTRODUCCIÓN

En este documento se explicará la información utilizada y el procedimiento del desarrollo de una práctica para la programación secuencial de operaciones utilizando los módulos Fischertechnik del laboratorio de logística de la Facultad de Ingeniería Industrial en la Universidad Tecnológica de Pereira.

Partiendo desde la información conceptual: la programación secuencial de operaciones, la automatización de sistemas de producción y el aprendizaje basado en problemas, se busca construir una práctica que facilite tanto al estudiante como al profesor generar un entendimiento interiorizado acerca de la programación secuencial de operaciones, de manera que se expongan de manera clara los problemas, y que el estudiante con una serie de preguntas vaya llegando a los métodos de solución.

La practica toma como materia prima una línea de producción con diseño de Flow Shop que fue construida por estudiantes del laboratorio de logística, posteriormente esta línea fue mejorada, tanto física como digitalmente; cambiando su estructura y utilizando una programación mas eficiente para reducir la necesidad de materiales; habilitando así la construcción de mas maquinas y liberando componentes de los módulos Fischertechnik para otros procesos.

Durante el desarrollo de la practica se lleva a cabo la exposición del problema de programación secuencial de operaciones para los sistemas de producción enfocándose en el de Flow Shop, luego expone las bases teóricas de la programación secuencial de operaciones, las medidas que estas requieren y la forma en la que se comparan los diferentes ordenes, explica cuales son las reglas de despacho comunes, los algoritmos de programación que mejoran el ordenamiento de los trabajos y finalmente la utilización del software LEKIN para simular y comparar las diferentes reglas de despacho, métodos heurísticos y algoritmos de programación.

1 TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño de práctica para la programación secuencial de operaciones en los módulos Fischertechnik del laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial.

2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El área de investigación se centra en la programación secuencial de operaciones y en la automatización de procesos discretos.

3 MATERIAS DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la investigación, se abordarán las diferentes áreas que se requieren para realizar la programación secuencial de operaciones, las cuales se vinculan directamente con los enfoques de la ingeniería industrial, entre ellas se encuentran:

- Seminario de investigación
- Producción I, II y III
- Automatización
- Formulación y evaluación de proyectos
- Trabajo de grado

4 DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Selección y Definición del Tema de Investigación

Diseño de prácticas para la programación secuencial de operaciones mediante los módulos Fischertechnik del laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial.

4.2 Planteamiento del Problema.

La programación secuencial de operaciones es una rama de la ingeniería industrial que ayuda a establecer programas de producción con el fin de optimizar los recursos, minimizar los tiempos de proceso y los tiempos ociosos, lo cual conlleva a incrementar los índices de desempeño y productividad de una línea o un sistema de producción.[1]

Dada la necesidad de crear escenarios lúdicos y didácticos, donde los estudiantes puedan llevar a la práctica los conocimientos vistos en las aulas de clase, se ve la posibilidad de articular los equipos dispuestos en el laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial, como los módulos Fischertechnik, para generar una serie de prácticas donde los estudiantes puedan ver y aplicar las técnicas de programación secuencial y los temas referentes a la automatización de sistemas de producción.

La facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad tecnológica de Pereira tiene a su disposición el laboratorio de logística con una serie de elementos, máquinas y equipos didácticos que en conjunto crean un espacio apto que permite la recepción y el desarrollo del plan de las materias de producción y logística. El uso de este espacio de manera activa se considera esencial para el continuo desarrollo del laboratorio de logística y el cumplimiento de los objetivos propuestos por el mismo.

La investigación y aplicación de la programación secuencial usando la línea Fischertechnik como método de práctica y desarrollo de actividades dentro del laboratorio se encuentra en los manuales del uso del programa RoboPro y que, hasta el momento de inicio de este trabajo, es desconocido y poco utilizado.

4.3 Formulación del Problema.

¿La Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira cuenta con prácticas para el aprendizaje de la programación secuencial de operaciones?

4.4 Sistematización del Problema.

¿Se tienen prácticas propuestas para la temática de programación secuencial de operaciones que permitan interrelacionar la teoría con la práctica, utilizando los módulos de fischertechnik del laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial?

¿Se conoce la capacidad de mejoramiento en el aprendizaje de los temas de programación secuencial de operaciones utilizando los módulos Fischertechnik del laboratorio de Logística de la facultad de ingeniería industrial?

¿Se cuenta con un escenario didáctico que mejore el aprendizaje de la programación secuencial de operaciones?

5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Universidad Tecnológica de Pereira ha realizado una inversión en espacios dedicados para la experimentación y prácticas dentro de la facultad que permitan al estudiante desenvolverse en ambientes diferentes al aula de clases. Diversos factores tales como el desconocimiento y la desinformación, son causales del poco uso que presentan actualmente y que hacen injustificable el gasto por parte de la facultad donde lo ideal sería el uso de los laboratorios para llevar a cabo proyectos que impulsen el desarrollo de conocimientos.

El incremento del uso de los laboratorios impulsará de igual manera la aplicación de la teoría en un ámbito práctico, el estudiante se familiariza progresivamente con los procesos que deberá llevar a cabo dentro de su vida laboral y que son parte de la industria, así como las herramientas necesarias para generar y transmitir conocimiento.

Con la implementación de softwares y procesos automatizados se abre la puerta a toda una revolución en cuanto a producción en la industria. Esto, como ya se mencionó, contribuye a una asignación más eficiente de los recursos, sumado a los incrementos en calidad y ahorros en tiempo de producción. Además, se esperaría que para un futuro cercano esto pueda llegar a desarrollar industrias totalmente inteligentes, sustentables, generosas con el medio ambiente, y que con la ayuda de nuevas tecnologías su comunicación con los diferentes mercados del mundo sea más rápida y productiva.

Debido a que la programación de sistemas de producción mejora el movimiento de información a través de las máquinas; permite que se obtengan líneas de producción flexibles y con calidad estandarizada sin necesidad mucha cantidad de personal es por esto por lo que se optimizan los costos adquiridos al contratar personal para realizar el trabajo.

Familiarizarse con procesos tecnificados facilita la implementación de sistemas de producción automatizados, así como el entendimiento de la manera en la que estos deben ser utilizados para mejorar el presente estado de una cadena productiva. Así, es sumamente importante para el perfil de cualquier persona que esté relacionada con la cadena productiva de entender la manera en la que los procesos automáticos tecnificados funcionan

6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 Objetivo General.

Diseñar prácticas enfocadas a la programación secuencial de operaciones usando los módulos Fischertechnik del laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial.

6.2 Objetivos Específicos

- Definir los escenarios de programación secuencial de operaciones factibles de implementar en los módulos de procesos Fischertechnik dispuestos en el laboratorio de logística.
- Establecer los diseños, programación y puesta en marcha de los centros de trabajo y líneas de producción que contribuyan a la implementación de los algoritmos de programación secuencial de operaciones en los módulos Fischertechnik.
- Diseñar las prácticas de laboratorio que brinden al estudiante un escenario didáctico y lúdico para el aprendizaje de la programación secuencial de operaciones.
- Realizar pruebas enfocadas a la retroalimentación de las prácticas con el fin de ajustar y evaluar el mejoramiento en el aprendizaje de la programación secuencial de operaciones.

7 MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO TEÓRICO.

Programación secuencial de operaciones

La programación secuencial de operaciones es el método por el cual es organizado todo el proceso productivo de un sistema de operaciones; de tal modo que asegure un aprovechamiento más eficiente de los recursos disponibles, tanto humanos como de materia prima, tiempos y herramientas.

Por este motivo, se considera una herramienta de especial importancia y necesaria para el control de operaciones que abarca no solo la producción sino también todas las actividades económicas que requieran una organización, ya que se manejan diferentes variables; desde el tiempo y el turno de los operarios hasta máquinas, materia prima, transporte y herramientas. Algunos problemas que intenta resolver la programación de operaciones son:

- Programación de trabajo en Job Shop
- Programación de Personal
- Programación de instalaciones
- Programaciones de vehículos
- Programación de vendedores
- Programación del proyecto
- Programación dinámica y/o estática

Para tener coherencia con el tema de estudio, se profundizará mayormente en los problemas de programación de la producción.

I. Programación de la producción, características y objetivo.

La programación de la producción sigue una jerarquía claramente marcada. Su primer paso se basa en pronosticar la demanda a futuro; de esta manera se obtendrá la información necesaria para determinar cual deberá ser el plan agregado de producción el que describe cuál será la fuerza laboral extra para cumplir con la demanda; luego este plan agregado se introduce al plan maestro donde se programan los valores de producción por producto e intervalo de tiempo.

A partir de la información se procede a actualizar la planeación de materiales, donde son identificados factores como la cantidad de recursos necesarios y se establecen las fechas de cada uno de los componentes necesarios para llevar a cabo este nuevo nivel de producción. Por último, se detallan cada una de las actividades necesarias para cumplir con las especificaciones del sistema maestro de producción

estableciendo con profundidad el orden, los materiales, el tiempo y las fechas de inicio y finalización de cada uno de los subprocesos presentes en el plan.

Las características principales que se deciden al programar una operación son las siguientes:

- a. Patrón de llegada de los trabajos: esta característica identifica la dinamicidad de los problemas de programación de trabajos, ya que la cantidad de trabajos son variables e inciertos en la mayoría de los casos.
- b. Número y variedad de máquinas en el taller: establece la cantidad y tipo de cada una de las máquinas que se van a implementar en el Job Shop, con cada una de las tasas de producción, las condiciones de la misma y de los trabajadores.
- c. Número de trabajadores en el taller: determinan la capacidad real de cada puesto de trabajo en el que se requiera personal; tiene en cuenta factores individuales como el nivel de experiencia del trabajador y su efectividad.
- d. Patrones específicos de flujo: indican el movimiento de materiales y de productos dentro del sistema
- e. Evaluación de las reglas alternas: analiza los objetivos del método; y de qué manera se pueden obtener reglas diferentes y óptimas para cada escenario, como minimizar tiempo de producción; o minimizar el retraso de los trabajos.

Objetivos del método.

Los objetivos establecen el fin último de la programación de la operación y hacia estos se dirige la implantación de las características de la operación. Algunos de estos son:

- Cumplir con fechas de entrega
- minimizar el inventario de trabajo en proceso
- minimizar el tiempo promedio de flujo a través del sistema
- suministrar un elevado tiempo de uso de máquina/trabajador (disminuir el tiempo muerto de los recursos)
- suministrar información exacta del estado de los trabajos
- reducir los tiempos de preparación
- minimizar los costos de producción y de los trabajadores.

Es imposible optimizar cada uno de los objetivos al tiempo, ya que la relación entre el costo de producción y la calidad del producto establece un intercambio estratégico definido por la empresa.

II. Reglas de despacho

Las reglas de secuencia existentes para un taller se pueden determinar de cierta manera:

- Primero en llegar, primero en salir (FCFS): Los trabajos se procesan en el orden de llegada.
- Último en llegar, primero en salir (LCLS): Los trabajos se procesan comenzando por el último trabajo en llegar a la fila.
- Tiempo de procesamiento más corto (SPT): se procesa primero el trabajo que menos tiempo tome producirse.
- Fecha de entrega más próxima (EDD): Se procesa primero el trabajo con la fecha de entrega más inmediata
- Basada en la razón crítica (CR): se procesan calculando así:
(Fecha de salida-Fecha actual) / tiempo de procesamiento
y se procesa primero el de mayor razón.
y se calculan en un instante de tiempo estático.

III. Medidas de Desempeño

Son medidas que ayudan a determinar que tan bien está funcionando la programación.

WB: Tiempo total de espera de las tareas para un programa dado

W(j): Tiempo total de espera de la tarea j

Ŵ: Tiempo total de espera promedio

C(j): Tiempo de terminación de la tarea j

Cmáx: Tiempo de terminación del conjunto de tareas (Makespan)

F(j): Tiempo de flujo de la tarea j

Fpromedio: Tiempo de flujo promedio

E(j): Adelanto de la tarea j

L(j): Retraso de la tarea j

T(j): Tardanza

TMax: Tardanza máxima.

Nt: Cantidad de trabajos Tardíos.

Maquinas:

IB(m): tiempo ocioso de la maquina m antes de ser asignada la primera tarea

IB: Tiempo ocioso de todas las maquinas antes de ser asignada la primera tarea.

I(m): Tiempo ocioso de la maquina m desde el instante en que está disponible hasta el momento de terminación de las tareas.

I: Tiempo ocioso de todas las maquinas hasta la terminación de la última tarea.

IV. Terminología

Para la programación se definen los siguientes valores:

- t_i = Tiempo de procesamiento para el trabajo i
- d_i = Fecha de entrega del trabajo i
- W_i = Tiempo de espera para el trabajo i
- F_i = Tiempo de flujo para el trabajo i
- L_i = Retraso del trabajo i
- T_i = Retardo del trabajo i
- E_i = Anticipación del trabajo i .

luego se relacionan:

- El tiempo de flujo es el tiempo de espera más el procesamiento del trabajo
 $f_i = W_i + t_i$
- El retraso del trabajo como
 $L_i = F_i - d_i$
- El retardo es
 $T_i = \max[L_i, 0]$
- La anticipación es
 $E_i = \max[-L_i, 0]$

V. Programación de Una Sola Máquina.

Para la programación de una sola máquina: se definen primero los siguientes valores:

Al considerar una sola máquina, el ordenamiento se puede presentar como una permutación con valores enteros de 1,2,, n , en los que la variable que se ordena depende del tipo de objetivo, siendo el flujo medio con t_i , fecha de entrega más próxima con d_i y número de trabajos atrasados con d_i , y sumando la cantidad de trabajos atrasados por secuencia.

También se utiliza el algoritmo de Lawler, el cual programa el último trabajo que debe terminarse, y se devuelve uno a uno hasta terminar con los trabajos así:

$$\min(\max[g_i(f_i)])$$

Donde g_i es cualquier función no decreciente del tiempo de flujo, siendo

$g_i(F_i) = F_i - d_i = L_i$	Para minimizar el retraso máximo
$g_i(F_i) = \max(F_i - d_i, 0)$	Para minimizar el atraso máximo

Este algoritmo comienza desde el último trabajo hasta el primero, así que va iterando desde la última etapa (último trabajo) hasta la primera etapa (primer trabajo)

VI. Programación Maquinas en Paralelo.

Para la programación de máquinas en paralelo se utilizan los siguientes métodos:

- A. Se utilizan métodos de balanceo, en que se organizan de manera que cada máquina tenga un tiempo de trabajo máximo de $C_{max}(OPT) = (T_w/M)$, donde T_w es la suma de todos los trabajos.
- B. Para maquinas diferentes, se utiliza un algoritmo que reduce los tiempos de manera que se programa el trabajo que menos se demora en cada máquina.

- a. Se organiza la información en una tabla así

Trabajo	M1	M2	M3
T1	2	4	2
T2	1	3	5
T3	2	2	6

Tabla 1 Fuente: Autor

- b. Luego se reduce restando de cada fila y cada columna el menor número.

Trabajo	M1	M2	M3
T1	1	2	0
T2	0	1	3
T3	1	0	4

Tabla 2 Fuente: Autor

- c. Así, se programa en la maquina 1 el trabajo 2, en la maquina 2 el trabajo 3 y en la maquina 4 el trabajo 1. En las posiciones donde se encuentren los 0.
- C. Cuando los trabajos tienen un orden, se organiza el diagrama de flujo, y se programan de primero aquellos que tengan más número de trabajos conectados, así, se liberan las piezas que deben ser trabajadas de nuevo más adelante.

VII. Programación Flow Shop.

Flow shop es la organización del sistema de producción en línea, es decir que los trabajos se mueven de la primera a la última maquina en orden.

Cuando se deben programar varios trabajos en varias máquinas; resolver cada una de las posibilidades de programación y analizarlas resulta imposible e impráctico, ya que por cada n trabajos y m máquinas se encuentran $(n!)^m$ programas posibles, para esto, se categorizan la cantidad de trabajos y de máquinas en ciertos grupos con sus respectivos algoritmos de solución.

a. n trabajos en dos máquinas.

La solución del problema de programación de varios trabajos en dos máquinas se desarrolla por permutación, en el que se determina el orden en el que se deben programar cada uno de los trabajos en las máquinas, utilizando el algoritmo de Johnson, así:

Se definen:

A_i como el tiempo de procesamiento del trabajo i en la máquina A
 B_i como el tiempo de procesamiento del trabajo j en la máquina B

Se permuta así:

El trabajo i precede al trabajo $i + 1$ si $\min(A_i, B_{i+1}) < \min(A_{i+1}, B_i)$

Es decir, se busca el trabajo que tiene menor tiempo de procesamiento, si el tiempo está en la maquina B, se ordena de ultimo, si está en la maquina A, se ordena de primero.

b. n trabajos en tres máquinas:

Al ampliar el trabajo a tres máquinas diferentes, el problema se convierte en uno considerablemente más complejo, y este mismo puede reducirse a un problema de dos máquinas si se cumplen las siguientes restricciones

$$\min A_i \leq \max B_i \quad \text{ó} \quad \min C_i \geq \max B_i$$

En donde luego se definen:

$$A'i = A_i + B_i \quad \text{y} \quad B'i = B_i + C_i$$

Esta simplificación arroja el orden en el que se deben programar las tareas, ya que las máquinas son diferentes y realizan trabajos diferentes, aun así, este sistema solamente arroja resultados óptimos seguros cuando se utiliza el objetivo es minimizar la terminación o el tiempo de flujo total.

c. Dos trabajos en m máquinas

El algoritmo creado para programar dos trabajos en m máquinas funciona con un plano cartesiano, en el que en las coordenadas X y Y se organizan los dos trabajos y se delinean con cuadros las intersecciones en los tiempos de procesamiento en cada una de las máquinas, luego se crea una trayectoria desde el origen del extremo del bloque final, que no intercepte los bloques y que minimice la trayectoria vertical y horizontal, el camino con menor trayectoria en el eje vertical es el óptimo para el sistema, contando con cada una de las trayectorias el valor total del eje horizontal o vertical más el valor de la trayectoria paralela al otro eje; el valor total menor es el que indica cual es el camino óptimo.

d. Algoritmo de Dannenbring

El algoritmo de Dannenbring es un método que reduce los sistemas de n trabajos en m máquinas a uno de n trabajos en 2 máquinas, que se termina solucionando con el algoritmo de Jonhson.

Se utilizan los dos operadores:

Para la máquina 1:

$$a_j = \sum_{i=1}^m [m - i + 1] P_{i,j}$$

Para la máquina 2:

$$b_j = \sum_{i=1}^m i P_{i,j}$$

a_j es el tiempo de procesamiento del trabajo j en la nueva máquina a .

b_j es el tiempo de procesamiento del trabajo j en la nueva máquina b .

se reduce el sistema a solamente 2 máquinas y se organiza finalmente con el algoritmo de Jonhson.

VIII. Programación Job Shop.

Job shop es la organización del sistema de producción como un taller, es decir que las maquinas no tienen un orden específico, los trabajos llevan un orden que puede variar.

La programación de trabajos en Job shop se realiza permutando con respecto al tiempo, es decir, se comienza analizando los trabajos que se pueden iniciar en el tiempo 0, y se asigna a cada maquina el trabajo que cumpla con 2 condiciones: comience con esa máquina, y tenga la mejor medición que se intente optimizar, es decir, si lo que se necesita es minimizar la tardanza, se programa primero el trabajo que tiene menor holgura, luego se permuta en el instante en el que se desocupe alguna máquina, y vuelve a realizarse el análisis hasta terminar con las rutas de todos los trabajos.

7.2 MARCO CONCEPTUAL

Programación Secuencial de operaciones: Es el método utilizado para determinar el orden, tiempo de inicio y secuencia a seguir al realizar varios trabajos de manera óptima.

Análisis estático: Se enfoca principalmente en programar sistemas desde un punto de vista que no cambia con el tiempo, y que observa la planta de producción en un instante inmediato.

Análisis dinámico: Se enfoca en programar sistemas desde puntos de vista que varían con el tiempo, es decir que tiene en cuenta la posibilidad de variaciones en las llegadas y tiempos de procesamiento del trabajo.

PEPS: Es una disciplina de ordenamiento que no tiene relación con el tiempo de procesamiento, en la que se procesa primero el primer trabajo en llegar.

UEPS: Es una disciplina independiente del tiempo de procesamiento en la que se procesa primero el último trabajo en llegar.

Automatización industrial: Es el proceso por el cual se utilizan sistemas de máquinas programadas por computadora que realizan una parte del proceso completamente sin necesidad de un humano realizando este mismo.

- **CAD:** Es el diseño de producto asistido por computación.
- **CAM:** Es el procesamiento asistido por computación, incluye el CAD y la manufactura del producto.

- **CAPP:** Es la planeación de la producción asistida por computador, incluye los dos anteriores y se enfoca en administrar de manera eficiente todo el proceso productivo desde el diseño hasta la postventa.

AbP: El AbP o Aprendizaje basado en problemas es un método de la enseñanza que utiliza el enfrentamiento a un problema como un catalizador en el proceso del entendimiento práctico de los métodos; es decir que se enfrenta a la persona a la que se le va a enseñar un método en contra de un problema, para que esta misma desarrolle un pensamiento crítico acerca de la solución del problema.

7.3 MARCO ESPACIAL

El espacio en el cual es desarrollado el proyecto se encuentra en el Laboratorio de Logística de la Facultad de Ingeniería Industrial, en el primer piso del edificio 5 de la Universidad Tecnológica de Pereira, en Pereira; Colombia. Buscando facilitar la implementación de los conocimientos obtenidos durante las materias de producción a el ámbito práctico.

7.4 MARCO TEMPORAL

El momento temporal en el que se plantea el proyecto se desarrolla desde el instante que comienza la realización de la práctica hasta la aplicación y control de esta, realizada desde el segundo semestre académico de 2017 hasta el primer semestre académico de 2018.

8 TRABAJO DE CAMPO

8.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio regido por el proyecto se considera científico experimental debido al enfoque en la creación de un método de enseñanza relacionado profundamente con el área de producción, programación de operaciones y automatización industrial.

El estudio científico experimental permite la manipulación artificial de los factores de estudio por parte del investigador y la aplicación del método científico con el objetivo de llegar a una conclusión.

Este tipo de estudio proporciona mayor control de las posibles alteraciones en los resultados del estudio y una evidencia más sólida en la que basar los resultados obtenidos. Además, puede ser considerado como el único el único diseño posible para dar respuesta a la hipótesis de investigación.

8.2 HERRAMIENTAS PARA SELECCIONAR Y RECOGER INFORMACIÓN

Las herramientas utilizadas para formular la técnica y los problemas a resolver durante la práctica son:

Información Primaria:

- Línea Fischertechnik montada en el laboratorio de logística de la facultad de ingeniería industrial.
- Esquema de programación de secuencias.
- Explicación de la maquinaria Fischertechnik desde la automatización industrial.
- Creación del sistema de ABP aplicado a la programación y automatización de líneas utilizando los módulos Fischertechnik.

Información secundaria:

- “Automatización Industrial, ramón Piedrafito Moreno”
- “Análisis de la producción y las operaciones, Steven Nahmias”
- “Manual de funcionamiento de línea Fischertechnik”
- “Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing, Groover M”
- “Scheduling: theory, algorithms, and systems. Springer, Pinedo, M. L”
- “Sistemas automáticos industriales de eventos discretos Tello, S. S.”
- “Algoritmos heurísticos y el problema De job shop scheduling, Vicentini, F”
- “Problema de formación de lotes de fabricación en un sistema de manufactura flexible: Heurística de selección de partes El Hombre y la Máquina, Medina, P”
- “Los Sistemas Flow Shop sheduling En La Didáctica De La Educación En Ingeniería, Yepes González, Nelson Vladimir”
- “Se consultaron documentos facilitados por el profesor Jhon Andrés Muñoz, Acerca del aprendizaje ABP, de un Diplomado organizado por la UTP”

8.3 METODO DE REALIZACION

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo a partir de un plan de trabajo dividido en diferentes fases donde cada una encaminará a la realización completa de dicho proyecto.

Fase 1: Durante la primera fase, se investigará acerca de los algoritmos de programación de operaciones y los problemas que resuelve, para identificar cuáles de estos pueden ser aplicados al sistema y a la práctica

Fase 2: Se diseñará la programación de la maquinaria Fischertechnik utilizando cada uno de los métodos de programación seleccionados durante la fase 1.

Fase 3: Esta fase se dedicará a diseñar la práctica y el método de aplicación de esta, utilizando la programación realizada en las máquinas y el aprendizaje basado en problemas.

Fase 4: La práctica se correrá a manera de prueba para determinar el cumplimiento de los objetivos de esta y los ajustes necesarios en la aplicación de esta.

8.4 TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN

La información recolectada proveniente de la práctica será analizada y se identificarán el cumplimiento de los objetivos por parte de los estudiantes participantes.

Dicha información recolectada será la piedra basal para las deducciones y el replanteamiento de los objetivos con la intención de que la lúdica se convierta en una verdadera fuente de conocimiento que proporcione y sea el inicio de la creación de nuevos proyectos e iniciativas.

9 DESARROLLO DEL PROYECTO

9.1 Definición del sistema de programación secuencial para la línea de producción Fischertechnik

Los módulos de Fischertechnik del laboratorio de logística permiten construir diferentes tipos de sistemas a los cuales se les puede aplicar la programación secuencial de operaciones, tanto en sistemas con diseño Flow Shop, Job Shop o máquinas en paralelo, como ya se cuenta con una línea de producción en el laboratorio de logística, y esta línea tiene un diseño de Flow shop, se utiliza esta misma, junto con cambios en el diseño y la programación, para poder construir la práctica.

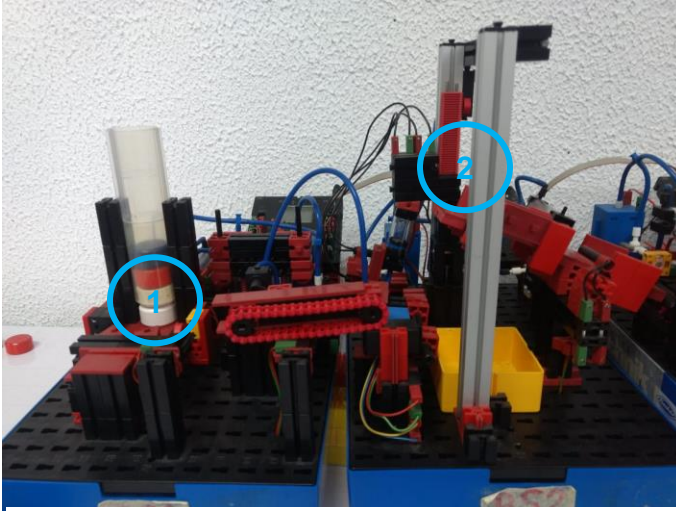
La línea de producción tiene las siguientes partes:

- A. Una entrada, en la que se organicen los trabajos con respecto a los algoritmos de programación, en la que los estudiantes entregaran a la línea las piezas en el orden obtenido.
- B. Un sensor de color, en el que se detecte y se diferencie cada pieza para definir los procesos que se realizaran en estas.
- C. Las máquinas que realizan el proceso a las piezas.

D. Una salida, donde se entregan los trabajos en el orden que iniciaron.

Maquina 1, Entrada

Ilustración 1 Almacén Vertical Ilustración 2

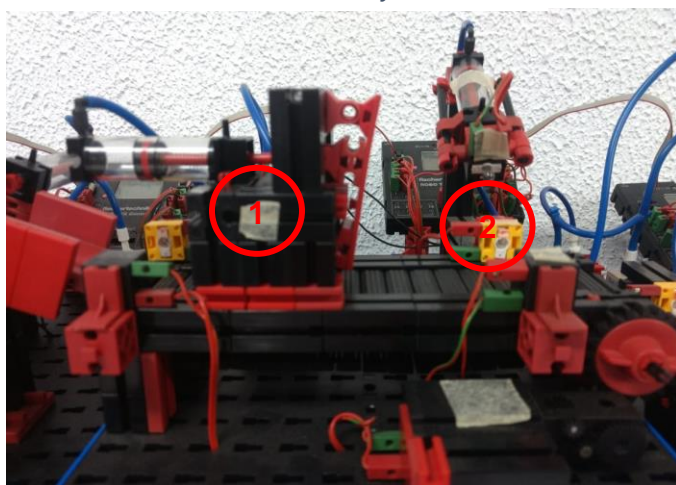


Fuente: Autor

Las piezas se ordenan manualmente en el almacén vertical (posición 1), donde luego el brazo elevador retira la pieza siguiente desde el almacén vertical, y la lleva hasta el sensor de color en la posición 2. Esta máquina utiliza 2 módulos diferentes, uno que retira la ficha y la lleva hasta un elevador; y otro que funciona amanera de stop para entregar al sensor de color la ficha siguiente solo cuando se haya terminado el proceso anterior.

Maquina 2, Sensor de color y soldadora

Ilustración 3 – Sensor de Color y Soldadora



Fuente: Autor

La banda transportadora ubica la pieza en la posición 1 bajo el sensor, donde se detecta el color de la ficha y se realiza la asignación de los trabajos a las 3 listas.

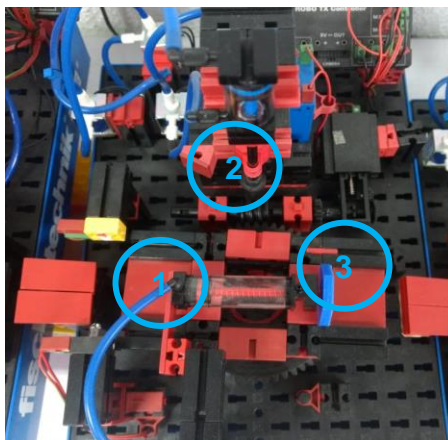
La asignación se realiza ingresando a cada lista un numero entero, que representa la cantidad de veces que se va a realizar la operación a esa ficha, las listas se leen solamente desde la máquina que la opera, es decir; existe una lista para la soldadora, y una para cada uno de los dos taladros.

Luego, la banda transportadora lleva la ficha hasta la posición 2, debajo de la soldadora, en donde la soldadora envía a la lista que le corresponde el # de fichas que ha procesado y la lista le envía el número de operaciones que le corresponde a esa ficha.

Finalmente, la soldadora realiza el trabajo, y la banda transportadora entrega la ficha a la siguiente máquina.

Maquina 3, taladro 1

Ilustración 4 Taladro 1



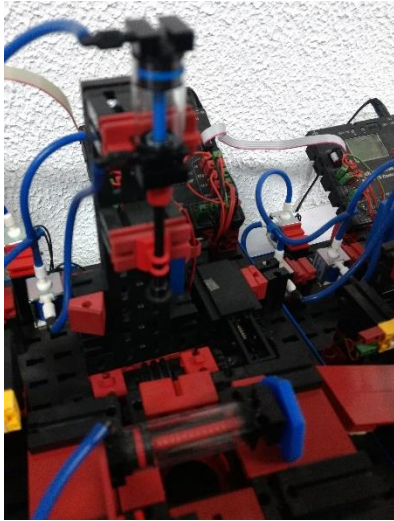
Fuente: Autor

El primer taladro recibe la ficha en un eje giratorio de 2 plataformas en la posición 1, luego la plataforma gira a la posición 2 debajo del taladro, en este punto el taladro solicita a la lista el número de operaciones que le corresponde a la ficha y realiza el trabajo.

Finalmente, la plataforma gira hasta la posición 3 en donde entrega la ficha a la siguiente máquina, y queda esperando a que ingrese una nueva ficha.

Maquina 4, Taladro 2.

Ilustración 5 Taladro 2



Fuente: Autor

El segundo taladro funciona de la misma manera que el primero, pero el numero de veces que debe realizar la operación por ficha varia, por lo que lo solicita a la lista #3. Este realiza la operación y entrega la ficha al cajón de trabajos terminados.

9.2 Diseño y programación de la línea con los módulos Fischertechnik

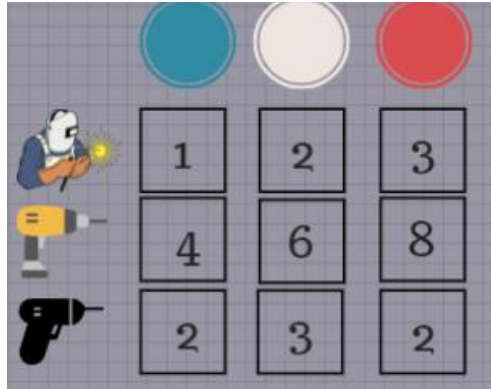
Ilustración 6 Fichas



Fuente: Autor

Los sensores de color de la línea Fischertechnik tienen una resolución capaz de detectar, con variaciones de luz ambiental y cambios en la textura de las piezas, al menos 3 colores: blanco, azul y rojo, por lo que se programa la línea para operar estos tres productos.

Ilustración 7 Asignación de Procesos



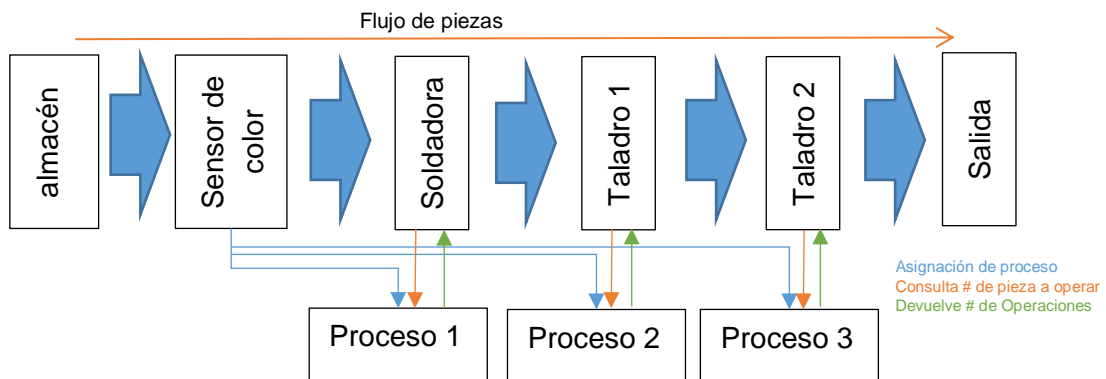
Fuente: Autor

De esta manera, la soldadora realizará un proceso en la ficha azul, 2 en la blanca, y 3 en la roja, así sucesivamente.

La programación de la línea de producción se realizó con el software de Fischertechnik: RoboPro.

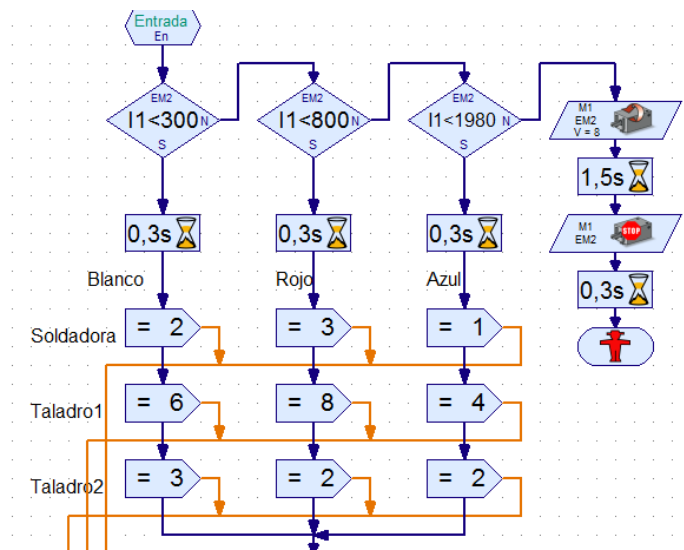
La estructura de la programación lógica es la siguiente:

Ilustración 8 Diagrama de flujos



Fuente: Autor

Ilustración 9



Fuente: Autor

El sensor de color almacena en cada lista el número de veces que la máquina debe realizar el proceso, cada que llega una ficha, el sensor escanea la ficha, y si detecta que tiene una frecuencia menor a 300 Hz, asigna los valores del color blanco a las tres listas, de lo contrario, si es menor a 800 Hz, asigna los valores del color rojo a las tres listas, de lo contrario, si es menor a 1980 Hz, asigna los valores del color azul a las tres listas, y si es mayor a esto, es porque no pudo leer la ficha, la ficha es negra o no hay ficha en la máquina, así que devuelve la banda transportadora y detiene el programa.

Luego cuando la pieza llega a la máquina, ésta envía a la lista el número de piezas que ha procesado, y la lista le devuelve un número entero que representa la cantidad de veces que se debe operar en esa estación.

De esta manera, utilizando las listas se puede definir, en una sola estación, la programación de todas las fichas que pueda leer el sensor de color, así como cambiar los procesos rápidamente para mostrar algunos casos específicos de la programación de operaciones, además; se elimina la necesidad de tener un sensor de color entre cada máquina, ya que la línea de producción tenía un sensor de color y una máquina por módulo, obligando a que las máquinas se diseñaran de manera simple, ya que una buena cantidad de los puertos de entrada y de salida de los controladores estaban ocupados por el sensor de color, que resultaba redundante.

9.3 Diseño de practica para la línea de producción

Se definieron los contenidos que debe incluir la práctica: la explicación de la manera en la que se utiliza la línea de producción, los temas básicos de la programación secuencial de operaciones como las medidas para calcular los algoritmos, las mediciones de desempeño para evaluar los algoritmos, las reglas de entrega, los algoritmos factibles en Flow Shop, y la utilización de un software para programación secuencial de operaciones, LEKIN.

La práctica contiene los siguientes temas:

- A. Manual de utilización de la línea
- B. Medidas necesarias para la programación
- C. Medidas de desempeño para la medición del programa
- D. Reglas de entrega
- E. Algoritmos de programación (Dannenbring)
- F. Utilización del software

9.3.1 Manual de utilización de la línea.

Para utilizar la línea de producción Fischertechnik es necesario seguir una serie de pasos:

- a. Insertar las fichas en el orden de los trabajos en el almacén vertical.
- b. Ejecutar el programa “Reset” para llevar a la línea a el estado inicial, en el que ella espera a comenzar a procesar las fichas.
- c. Ejecutar el programa “línea + listas” y tomar los tiempos que demora cada ficha en salir de la línea de producción.
- d. Con estas medidas se realiza la comparación entre diferentes algoritmos u opciones de programación. Para esto se diseñó un libro de Excel que facilita a la persona que está corriendo la práctica para que compruebe los algoritmos y el desempeño de las diferentes programaciones que se simulan durante la práctica.

9.3.2 Medidas Necesarias para la programación.

Para comenzar a calcular algoritmos es necesario tomar algunas medidas de la línea: (T_{ij})

- a. El tiempo que toma cada ficha en llegar hasta el sensor de color
- b. El tiempo que toma cada ficha en llegar hasta el taladro 1
- c. El tiempo que toma cada ficha en llegar hasta el taladro 2
- d. El tiempo que toma cada ficha en salir de la línea de producción

Estos datos se utilizan para definir los tiempos de producción de cada ficha en el sensor de color y la soldadora, el taladro 1, y el taladro 2, gracias a esta información se pueden ejecutar los algoritmos de programación secuencial de operaciones.

Se adjunta un archivo de Excel que condensa la información, incluye las fórmulas para la programación con Dannenbring y poder verificar la aplicación de este algoritmo con los estudiantes.

9.3.3 Medidas de desempeño para la medición del programa.

Para poder comparar entre programaciones diferentes, se toman algunas medidas que facilitan entender cuáles de estos optimizan las diferentes variables necesarias. Las variables por tomar; y calcular, son las siguientes:

- a. $C(j)$: Tiempo de terminación de tarea j
- b. C_{max} : Tiempo de terminación de todas las tareas
- c. $E(j)$: Adelanto de la tarea j
- d. $L(j)$: Retraso de la tarea j
- e. N_t : Numero de tareas atrasadas.

9.3.4 Las reglas de entrega:

Las reglas de entrega son criterios de ordenamiento comunes que se utilizan para describir los comportamientos de los trabajos ya sea en líneas de producción, almacenes, cadenas de abastecimiento; etc., estos son:

- I. FCFS: Se ejecuta primero la primera pieza que llegue.
- II. LCFS: Se ejecuta primero la Última pieza que llegue.
- III. EDD: Se ejecuta primero la pieza que se deba entregar más prontamente.
- IV. LPT: Se ejecuta primero la pieza que toma más tiempo de procesamiento.
- V. CR: Se ejecuta primero la pieza que tenga la mayor razón crítica.

9.3.5 Algoritmos de Programación:

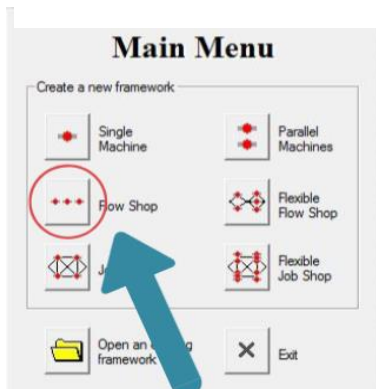
Los algoritmos de programación aplicables a la línea de producción que se van a trabajar son:

1. Jonhson (Utilizado para programar solamente dos máquinas, es el que soluciona el problema final de Dannenbring)
2. Dannenbring (Utilizado para reducir un programa de más de dos máquinas en línea para que Jonhson lo pueda solucionar)

9.3.6 Utilización del software

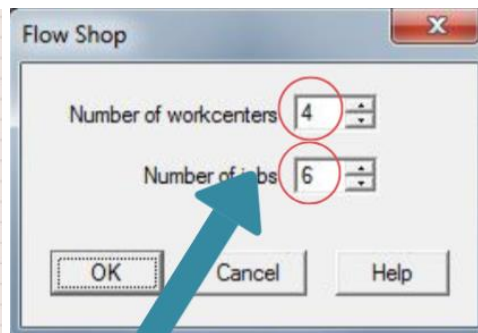
El software LEKIN sirve para facilitar el cálculo teórico de las medidas de desempeño de los algoritmos y las reglas de entrega, además, permite ver en un diagrama de Gantt los puntos en los que se están generando colas o esperas; y comparar los diferentes ordenes propuestos mediante un diagrama de medidas de desempeño.

Ilustración 11



Fuente: Autor

Ilustración 10



Fuente: Autor

Para poder realizar el modelo del sistema de producción en LEKIN, se debe iniciar un proyecto de Flow Shop (Figura 9), y agregar 4 máquinas y la cantidad de trabajos que se vayan a realizar, para la práctica se sugieren 6 trabajos, 2 de cada color. (Figura10)

Formato para practica de programación secuencial de operaciones con los módulos Fischertechnik

Nombre: _____ Fecha _____ Grupo _____

Color\Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO COLOR/MAQUINA	Tiempo inicial
ROJO											SOLDADORA TALADRO1 TALADRO2	
BLANCO											SOLDADORA TALADRO1 TALADRO2	
AZUL											SOLDADORA TALADRO1 TALADRO2	

CORRIDA 1

TIEMPO INI	0	FALSO			
POS.INI	FICHA	TIEMPO DE SALIDA	TIEMPO IDEAL	TIEMPO DE RETRAZO	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
FINAL					

CORRIDA 2

TIEMPO INI	0	FALSO			
POS.INI	FICHA	TIEMPO DE SALIDA	TIEMPO IDEAL	TIEMPO DE RETRAZO	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
FINAL					

CORRIDA 3

TIEMPO INI	0	FALSO			
POS.INI	FICHA	TIEMPO DE SALIDA	TIEMPO IDEAL	TIEMPO DE RETRAZO	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
FINAL					

CORRIDA 4

TIEMPO INI	0	FALSO			
POS.INI	FICHA	TIEMPO DE SALIDA	TIEMPO IDEAL	TIEMPO DE RETRAZO	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
FINAL					

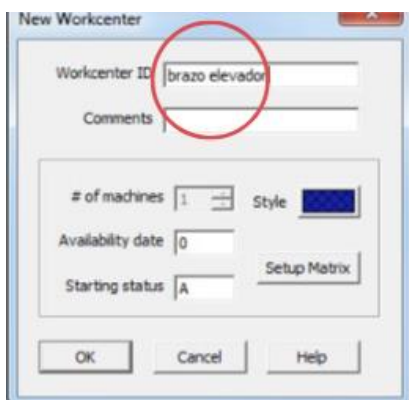
Dannenbring

Trabajo\Maquina	M1	M2	M3	M4
J1				
J2				
J3				
J4				
J5				
J6				

Trabajo\Maquina	M1	M2	M3	M4		M1*	M2*
J1					J1		
J2					J2		
J3					J3		
J4					J4		
J5					J5		
J6					J6		

Autor: Pablo Gómez Cárdenas

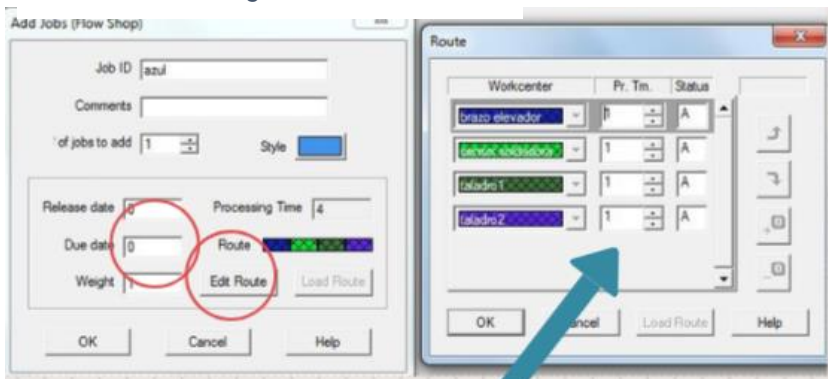
Ilustración 12 configuración de puesto de trabajo



Fuente: Autor

A cada máquina (Workcenter) se le asigna un nombre, el resto de las configuraciones se dejan por defecto.

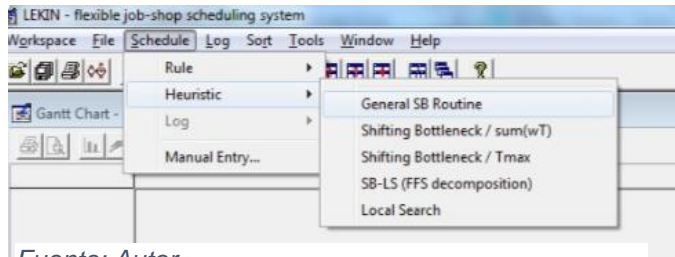
Ilustración 13 Configuración de ruta



Fuente: Autor

Al agregar los trabajos (Figura 12), se debe construir la ruta que van a seguir junto con los tiempos que demora cada trabajo en cada máquina (Figura 13). Como la maquina 1 opera antes de saber el color de la ficha, los tiempos siempre son iguales, para todos los colores.

Ilustración 14 Reglas heurísticas de ordenamiento



Fuente: Autor

Finalmente, se selecciona desde el menú de “Schedule” (figura 14) la regla de despacho o el método heurístico que se quiera simular, LEKIN automáticamente nos muestra el diagrama de Gantt asociado a este orden.

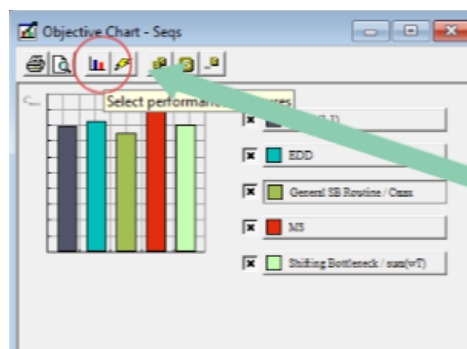
Ilustración 15 diagrama de Gantt



Fuente: Autor

Como el programa no incluye el algoritmo de Dannenbring, se debe calcular el orden manualmente, y luego se organizan las piezas de cada máquina en el diagrama de Gantt arrastrando cada bloque hasta la posición final.

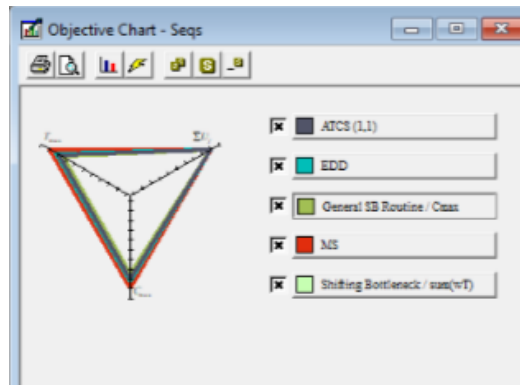
Ilustración 16 tabla de objetivos



Fuente: Autor

Finalmente, en el botón de “select Performance measures” se activan las medidas de desempeño que se quieran comparar, y nos muestra finalmente el “objective chart window” que compara todos los órdenes propuestos en una gráfica de múltiples variables, permitiendo escoger la que más se adapte al objetivo de la programación.

Ilustración 17 Diagrama de objetivos



Fuente: Autor

En este cuadro, se pueden ver 3 variables y los valores que tomaron con cada una de las programaciones simuladas, así se puede seleccionar la programación que cumpla con el objetivo, y simular en la línea de producción para verificar si mejoró con respecto a las corridas anteriormente.

9.4 Aplicación de la practica

La práctica fue corrida por primera vez con estudiantes de Ingeniería Industrial que hacen parte del grupo de investigación GEIO, durante esta corrida se tuvo en cuenta los puntos de la teoría básica de la programación secuencial de operaciones, las medidas de desempeño, los algoritmos de programación, las estructuras de los sistemas de programación y el manejo del software; utilizando el aprendizaje basado en problemas como método para la exposición de los temas y el proceso de programación secuencial de operaciones.

Durante la práctica se realizaron preguntas que exponen el problema de la necesidad de utilizar la programación secuencial de operaciones y llevaron a los estudiantes a deducir la necesidad de tomar medidas, correr simulaciones, realizar cálculos, diagramas de Gantt y finalmente comparar las diferentes programaciones propuesta utilizando medidas de desempeño.

Finalmente, se realizó una retroalimentación con los estudiantes, buscando mejorar los aspectos débiles de la practica con el fin de ajustar el diseño y evaluar el aprendizaje del tema

Durante esta retroalimentación se encontró que los estudiantes comprendieron el tema e interiorizaron la necesidad de la programación secuencial de operaciones para los sistemas de producción.

Además, realizaron sugerencias para mejorar el diseño, la parte estética de la presentación, profundizar más en el manejo del software LEKIN y entregar formatos para el ordenamiento de la información y realizar los cálculos.

La presentación se rediseñó con el fin de exponer de una manera más amena los temas, el manual del software se detalló con pantallazos en la presentación para describir de mejor manera el funcionamiento de este, y los formatos se diseñaron en Excel para los diagramas de Gantt, el cálculo de los algoritmos de dannenbring y Jonhson, y la comparación de las medidas de desempeño de estas.

10 CONCLUSIONES

- El escenario de programación secuencial de operaciones mas factible es realizar una practica con el sistema de Flow shop, debido a que ya existe una línea de producción construida en el laboratorio con los módulos Fischertechnik. Adicionalmente se ajustaron las maquinas que hacen parte de esta y se cambió la programación para liberar componentes que resultaban redundantes del diseño original. La línea de producción finalmente cuenta con 5 módulos, divididos en 4 máquinas, la primera maquina va desde el almacén vertical hasta el brazo elevador, la segunda va desde el sensor de color hasta la soldadora, la tercera es el tercer taladro y la cuarta es el segundo taladro.
- Las líneas de producción siempre se programan enfocándose en las piezas que van a procesar, de igual manera, se programó la línea con una capacidad de 3 fichas de color diferente; cada una de estas fichas tiene un proceso específico y diferente en las máquinas, la información del color de la ficha se mueve desde el sensor de color hasta las maquinas por el medio de tres listas globales que almacenan todas las piezas que se procesen en esa corrida, así que se elimina la necesidad de tener un operario humano que le dicte el color a la máquina, o tener un sensor de color antes de cada máquina.
- Se diseñó la practica siguiendo una estructura que lleve al estudiante a deducir cada tema importante de la programación secuencial de operaciones, desde la necesidad de la programación, incluyendo la necesidad de la medición y calculo de los algoritmos hasta la comparación de estos y la utilización del software LEKIN para simular las programaciones.
- La práctica se corrió por primera vez con estudiantes del grupo GEIO, durante la corrida de practica se consultó varias veces si el diseño era ideal o si existían algunos comentarios al respecto; los comentarios mas incisivos fueron profundizar en el manejo del software LEKIN, y entregar formatos que faciliten la toma de datos y el calculo de los algoritmos, finalmente expresaron que habían entendido el tema global de programación secuencial de operaciones, y que gracias al aprendizaje basado en problemas aplicado durante la práctica, se pudo interiorizar la necesidad del mismo para los sistemas de producción.

11 RECOMENDACIONES

Realizar el trabajo del diseño de la línea de producción facilitó una vista mucho mas objetiva de la utilidad que tienen los módulos de fischertechnik, para el laboratorio de logística, seria de gran ayuda diseñar practicas que utilicen los módulos ya contruidos para explicar Job Shop y maquinas en paralelo, además de buscar una manera en la cual se pueda automatizar los otros diseños de sistemas de producción que normalmente requieren de un operario que mueva las fichas entre módulos.

BIBLIOGRAFÍA

- Groover, M. P. (2007). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Prentice Hall Press.
- Moreno, R. P. (2004). *Ingeniería de la automatización industrial*. Madrid: Ra-Ma.
- Nahmias, S., & Olsen, T. (2015). *Production and operations analysis: Strategy, quality, analytics, application*. Long Grove, IL: Waveland Press.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer.
- Tello, S. S. (2013). *Sistemas automáticos industriales de eventos discretos*. Alfaomega Grupo Editor.
- Vicentini, F (2003). *Algoritmos heurísticos y el problema De job shop scheduling*. Buenos Aires, Argentina.
- Medina, P (2009). *Problema de formación de lotes de fabricación en un sistema de manufactura flexible: Heurística de selección de partes El Hombre y la Máquina, núm. 32, Universidad Autónoma de Occidente Cali, Colombia*
- Yepes González, Nelson Vladimir. (2014). *Los Sistemas Flow Shop scheduling En La Didáctica De La Educación En Ingeniería, Bogotá, Colombia*.